

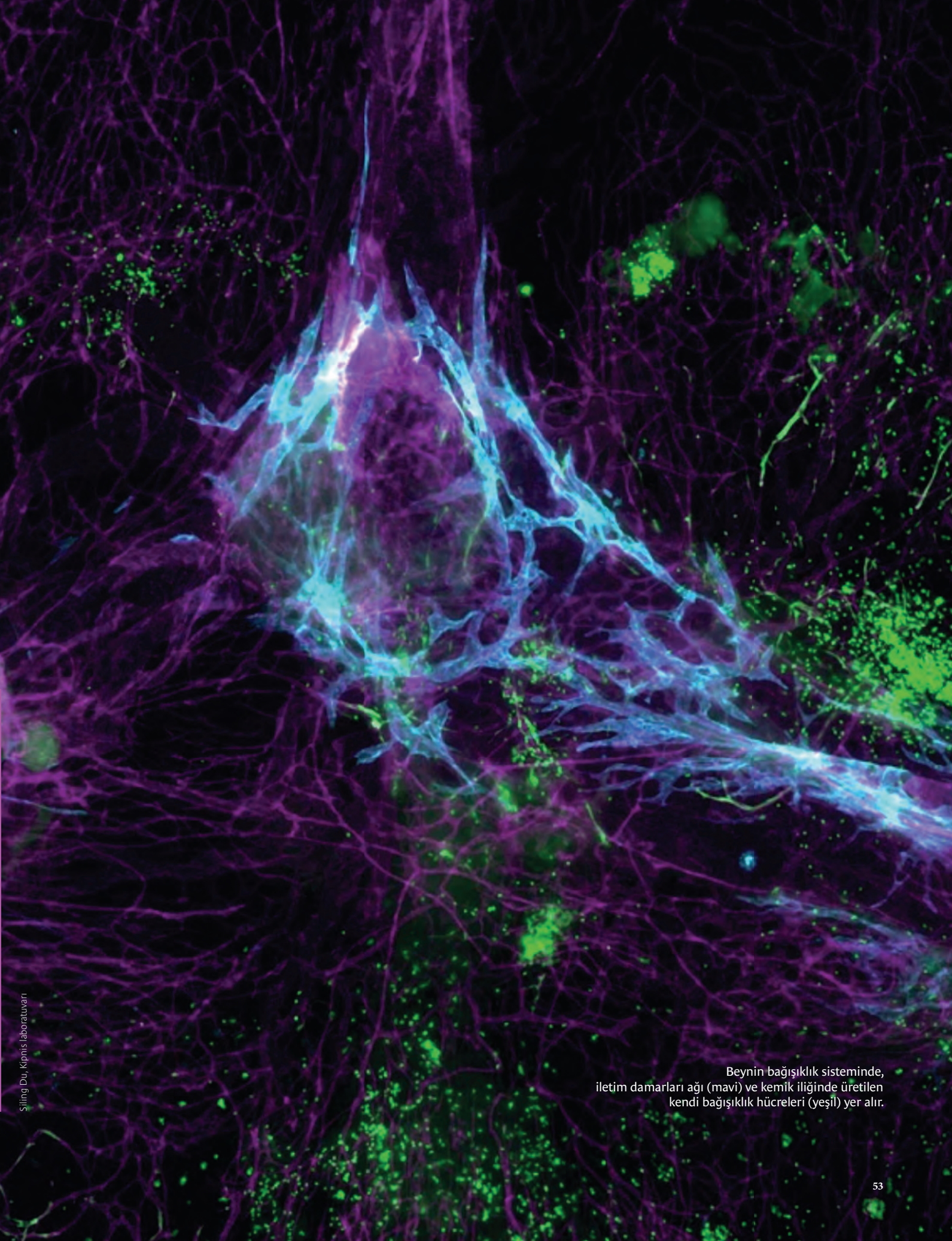
Beyin Artık

**“Aşılamaz
Bir Kale”**

Değil!

Dr. Özlem Ak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Son yıllarda nöroimmünoloji alanında yaşanan büyük gelişmeler, teknolojik ilerlemelerin yanı sıra sinirbilimciler ve immünologlar arasında gün geçtikçe artan iş birliğine bağlıyor. Bir zamanlar pek çok immünolog tarafından bir çeşit “yasak bölge” olarak görülen bu konu, artık biyolojik araştırmaların en heyecan verici alanlarından biri oldu. Nöroimmünoloji, ilk olarak 1980’lerin başında kendi başına bir disiplin olarak ortaya çıktı. Uzun yıllar bu alanda, sinir hücrelerinin etrafını çevreleyen miyelin kılıflarının hasar görmesi sonucu ortaya çıkan multipl skleroz ve hem sinirleri hem de kasları etkileyen myastenia gravis gibi otoimmün bozukluklarla ilgili çalışmalara odaklandı. O zamanlar hâkim olan düşünceye göre, kan beyin bariyeri, bağışıklık sisteminin sağlıklı olan merkezî sinir sistemine erişimini engelliyor, beyin “bağışıklık açısından ayrıcalıklı” bir bölge olarak görülüyordu. Hatta merkezî sinir sistemindeki bağışıklık aktivitesinin genellikle patolojik olduğu düşünülüyordu. Bağışıklık sistemi ile sinir sisteminin fizyolojik etkileşimini ele alan çalışmaların sayısı çok azdı. Buna rağmen, iki sistemin iki yönlü aktif bir etkileşimde olduğuna dair bazı ipuçları da vardı. Neredeyse 40 yıl sonra artık bilim insanları bağışıklık ve sinir sistemleri arasında gerçekleşen karmaşık ama karşılıklı etkileşim konusunda geçmişten çok farklı bir anlayışa sahipler: Beyin artık “aşılamaz bir kale” değil!



Beynin bağımsızlık sisteminde, iletim damarları ağı (mavi) ve kemik iliğinde üretilen kendi bağımsızlık hücreleri (yeşil) yer alır.

Karmaşık Ama Karşılıklı Etkileşim

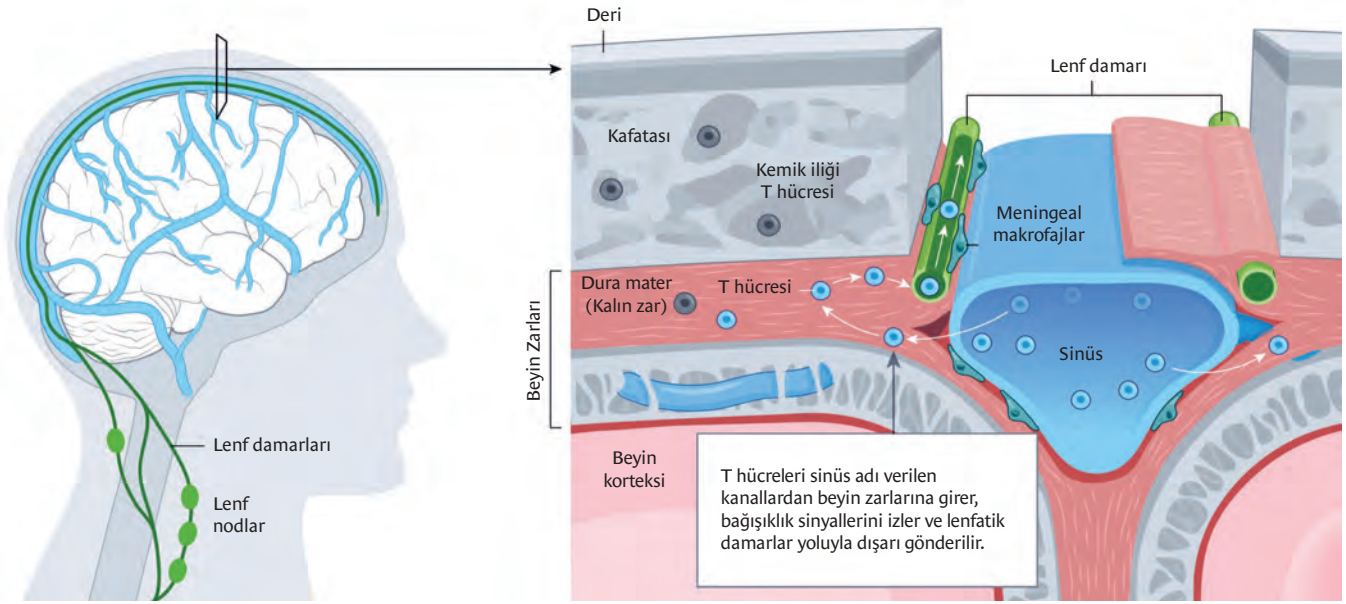
Vücudun en önemli organı olan beyin, önemine uygun bir şekilde kan beyin bariyeri ile korunuyor. Bilim insanları, uzun bir süre beyini vücudun geri kalanından özellikle de enfeksiyonlarla savaşan bağışıklık hücrelerinden tamamen ayrı bir dünya diye düşündüler. Ancak son on yıl içinde beynin enfeksiyonlardan korunmasının sandıkları kadar basit olmadığını keşfettiler. Beyni koruyan yapıda geçitler ile boşlukların, sınırlarında ise aktif bağışıklık hücrelerinin yer aldığını öğrendiler. Artık çok sayıda kanıt, beyin ve bağışıklık sisteminin sıkı bir şekilde birbiriyle ilişki içinde olduğunu gösteriyor.

Bilim insanları, beynin mikroglia adı verilen kendi bağışıklık hücrelerine sahip olduğunu zaten biliyordu. Ancak yapılan son keşifler, mikroglia hücrelerinin işlevlerinin detaylarını ve beynin etrafındaki bölgelerde bulunan diğer bağışıklık hücrelerinin özellikleri hakkında bilinmeyenleri ortaya çıkardı ve çıkarmaya devam ediyor. Bu hücrelerin bazıları vücudun başka yerlerinden gelirken diğerleri kafatasının kemik iliğinde üretiliyor. Araştırmacılar bu bağışıklık hücrelerini inceleyip beyinle nasıl etkileşimde bulduklarını haritalandırıyor. Böylece hem sağlıklı hem de hastalıklı veya hasarlı beyindeki rolleri araştırılıyor.



Beynin Bağışıklık Savunması

Uzun yıllardır beyin ve bağışıklık sisteminin birbiriyle ilişkili olmadığı düşünülüyordu. Beynin artık kendi bağışıklık hücrelerine ev sahipliği yaptığı ve sıvı sınırları olan beyin zarlarında dolaşıma izin verdiği biliniyor. Bağışıklık hücre tipleri arasında beynin içinde mikrogliya, kenarlarda T hücreleri ve makrofajlar bulunuyor. Bu hücreler birlikte sağlıklı beynin çalışmasına ve hastalıklardan korunmasına yardımcı oluyor.

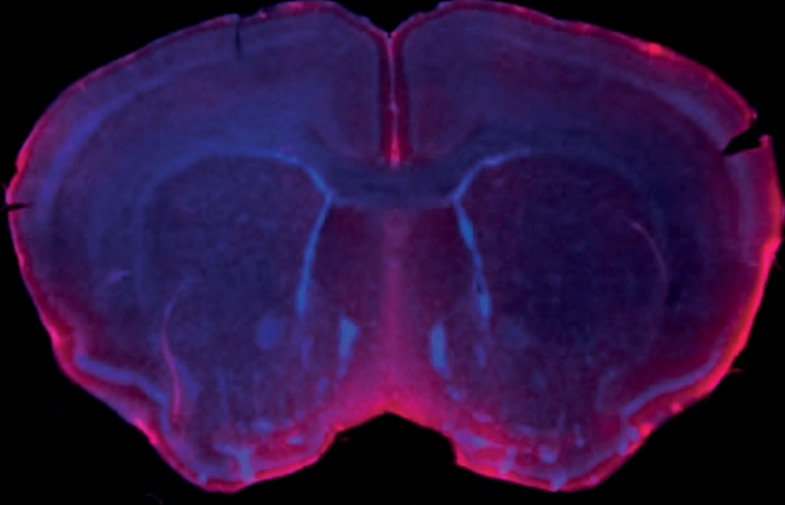


Bu araştırmalara duyulan ilgi özellikle son yıllarda büyük oranda arttı. Örneğin 2010'da konuyla ilgili yılda 2.000'den az makale yayımlanırken, 2021'de bu sayı yılda 10.000'in üzerine çıktı. Böylelikle araştırmacılar son birkaç yılda birçok önemli bulguya imza attılar. Bu bulgular ışığında bilim insanları artık beyni özel ve kapalı bir bölge olarak görmüyor. Brüksel Vrije Üniversitesinden nöroimmünolog Kiavash Movahedi'nin verdiği bilgilere göre, aslında kan beyin bariyeri bağışıklık hücrelerinin beyne ulaşması önünde bir engel olsa da beyin ve bağışıklık sistemi sürekli etkileşim hâlinde.

Yirmi yıldan uzun bir süre önce, İsrail'in Rehovot kentindeki Weizmann Bilim Enstitüsündeki

laboratuvarını yeni kurduğunda, beyin bağışıklık sisteminden yararlanmaması nöroimmünolog Michal Schwartz'e hiç mantıklı gelmiyordu. Dolayısıyla bu bilginin doğruluğunu sorgulamaya başladı. 1920'lerde Japon bilim insanı Y. Shirai, tümör hücreleri bir sıçanın vücuduna yerleştirildiğinde bağışıklık tepkisinin onları yok ettiğini, ancak aynı türde hücreleri beyne yerleştirdiğinde onlara bir şey olmadığını bildirmişti. Bu da beyinde ya çok zayıf bir bağışıklık tepkisi olduğu ya da hiç bağışıklık tepkisi olmadığı anlamına geliyordu. Ardından 1940'larda da benzer bulgular elde edildi. Ayrıca çoğu bilim insanı, beyinde bağışıklık moleküllerini içeri ve dışarı taşıyan bir sistemin (vücudun başka yerlerinde

bulunan lenfatik drenaj sistemi) bulunmadığı konusunda da hemfikir. O zamanlar hâkim olan görüşe göre, beyin ve bağışıklık sistemi arasındaki ilişki, sadece multipl skleroz gibi otoimmün hastalıklarda, bağışıklık hücrelerinin vücudun kendi hücrelerine saldırdığı "düşmanca" koşullar altında geçerliydi. Bu nedenle, 1990'ların sonunda Schwartz ve ekibi merkezî sinir sisteminde akut bir hasarın ardından makrofajlar ve T hücreleri olmak üzere iki tür bağışıklık hücresinin nöronları hasardan koruduğunu ve iyileşmelerini desteklediğini açıkladığında, birçok bilim insanı buna şüpheyle yaklaştı. Sözünü ettiğimiz bu ilk deneylerden beri Schwartz'ın ekibi ve bu konuyla ilgili çalışan diğer bilim insanları,



Beyin omurilik sıvısı (kırmızı), beynin koruyucu katmanları boyunca uzanan kan damarlarındaki küçük boşluklardan beyin dokusuna (mavi) sızar.

otoimmün hastalık olmasa bile bağışıklık hücrelerinin gerçekten de beyinde önemli bir rolü olduğunu gösteren çok sayıda kanıt topladı. Örneğin bağışıklık sistemi baskılanan farelerde bir motor nöron hastalığı olan amyotrofik lateral skleroz ve Alzheimer gibi nörodejeneratif hastalıkların daha hızlı ilerlediği, buna karşın bağışıklık sistemi etkin olduğunda bu hastalıkların ilerlemesinin yavaşladığı gösterildi. Bilim insanları ayrıca Alzheimer hastalığında mikroglanın potansiyel bir etmen olduğunu da ortaya koydu.

Yakın zamanda bilim insanları, beynin çevresindeki bağışıklık hücrelerinin nörodejeneratif hastalıklarda aktif olduğunu

gösterdi. California'daki Stanford Üniversitesinden nöroimmünolog Tony Wyss-Coray ve meslektaşları, Alzheimer hastalarına ait beyin omurilik sıvısını inceledikten sonra, beyin sıvı dolu sınırlarında T hücrelerinin sayısında artış yaşandığına dair kanıtlar buldu. Wyss-Coray bu artışı hastalıkla ilişkilendirdi. Ancak bağışıklık hücrelerinin beyne zarar mı verdiği, yoksa yardımcı mı olduğu hâlâ aydınlatılmamıştı. Wyss-Coray ve meslektaşları, Alzheimer ve diğer nörodejeneratif hastalıklar üzerine yaptıkları çalışmalarda, bağışıklık sisteminin iltihaplanmayı artıran ve hücre ölümünü tetikleyen moleküller salgılayarak nöronlara zarar

veriyor olabileceğini de göz önünde bulunduruyor. Bazı bilim insanları ise T hücrelerinin ve diğer bağışıklık hücrelerinin koruyucu olabileceğini öne sürüyor. Örneğin, Alzheimer fare modellerinde Schwartz'ın grubu tarafından elde edilen bulgulara göre, bağışıklık tepkisinin artırılması, hastalığın patolojik bir özelliği olan amiloid plaklarının temizlenmesine neden oluyor ve bilişsel performansı artırıyor.

Beynin Sınırlarında Yaşananlar

Vücuttaki hemen her tür bağışıklık hücresi beyni çevreleyen bölgede de bulunabiliyor. Çalışmalarında beyin sınırlarındaki makrofajlara odaklanan Free University of Brussels'dan Kravash Movahedi'ye göre, beyin sıvı dolu beyin omurilik zarı, bir çeşit "immünolojik bir harikalar diyarı"! Missouri'deki Washington Üniversitesinde nöroimmünolog olan Jonathan Kipnis ve meslektaşları, 2021 yılında kafatası kemik iliğinin yerel bir bağışıklık hücresi kaynağı olduğunu söylemişti. Kemik iliğinin bu hücreleri nasıl harekete geçirdiğini araştıran Kipnis ve meslektaşları, merkezî sinir sisteminde bir yaralanma gerçekleştiğinde veya bir patojen

tespit edildiğinde, bu durumlara yanıt olarak, beyin omurilik sıvısında taşınan sinyallerin kafatası kemik iliğine iletilmesini ve bunun bağışıklık hücrelerinin üretilip salınmasını sağladığını göstermişti.

Yerel çapta üretilen bu bağışıklık hücrelerinin nasıl bir rolü olduğu henüz bilinmiyor ancak Kipnis'in çalışma grubu bunların vücudun başka yerlerinden gelen bağışıklık hücrelerine göre daha farklı bir role sahip olabileceğini ve görevlerinin savaşmaya hazırlanmak yerine, bağışıklık tepkisini düzenlemek olduğunu düşünüyor. Eğer bu doğru ise özellikle multipl skleroz gibi otoimmün hastalıklarda, vücudun diğer bölgelerinden bağışıklık hücrelerinin beyne gelmesi

engellenerek semptomların iyileştirilme ihtimali umutlarını yeşertiyor. Diğer yandan, beyin tümörü söz konusu olduğunda, Kipnis bu bağışıklık hücrelerine de ihtiyaç duyulabileceğini göz ardı etmiyor. Bununla birlikte, Kipnis'in ekibi beynin yüzeyinde kıvrılıp dallanan ve beyin kendi lenfatik sistemini oluşturan, bağışıklık hücreleriyle dolu bir kanal ağı da tespit etti. Beyin omurilik zarının en dış kısmında yer alan bu damarlar, bağışıklık hücrelerine beyin yakınında konuşlanacakları bir bölge sağlayarak, herhangi bir enfeksiyon veya yaralanma belirtisini izleyebilecekleri bir bakış açısı temin ediyor.

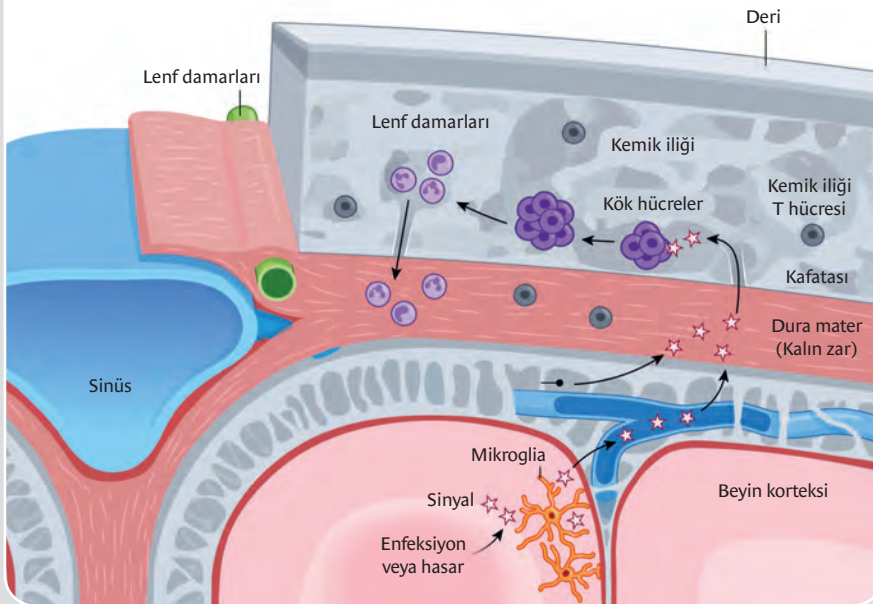
Araştırmalar sonucunda bu sınır bağışıklık hücrelerine sağlıklı beyinlerde de ihtiyaç olduğu

gösterilmişti. Örneğin Kipnis, Schwartz ve meslektaşları, bu hücrelerin bazılarında yoksun farelerin öğrenme ve sosyal davranışlarında sorunlar olduğunu tespit etmişti. Aynı ekip daha önce de 2020'de hem beyinde hem de vücudun geri kalanında belirli bir T hücresi popülasyonuna sahip olmadan gelişen farelerin kusurlu mikroglialara sahip olduğunu bildirmişti. Bu kusurlu mikroglia hücreleri gelişim sırasında sinir

Bağışıklık hücrelerinin beyin hasarı ve hastalıkları sırasında rol oynadığına dair kanıtlar arttıkça, araştırmacılarda bu hücrelerin sağlıklı beyinlerdeki işlevlerini öğrenme motivasyonu da yükseliyor. Massachusetts'teki Boston Çocuk Hastanesinden nörobilimci Beth Stevens'e göre, nöroimmünolojinin en heyecan verici yanı, hem pek çok farklı sorunla ve durumlara hem de normal fizyolojiyle ilgili olması. Stevens'in kendi ekibi de dâhil olmak üzere bu konuda çalışan birçok araştırmacı mikrogliaların beyin gelişimi açısından önemli olduğunu hâlihazırda biliyordu. Mikroglialar sinir hücrelerindeki bağlantıların "budanmasında", yani gereksiz nöral yapıların beyinden çıkarılmasında rol oynuyor ve çalışmalar budama sürecinin nörogelişimsel koşullara katkıda bulunabileceğini düşünüyor.

Özel Koruyucular

Beyin dokusunda enfeksiyon veya yaralanma olduğunu gösteren beyin omurilik sıvısından gelen sinyallere yanıt olarak kemik iliğindeki kök hücreler tarafından üretilen beyin bağışıklık hücreleri





hücre bağlantılarını budamakta zorlandığından aşırı sayıda sinapsa ve anormal davranışlara yol açmıştı. Bu nedenle bilim insanları, bu kritik dönemde T hücrelerinin beyne göç ettiğini ve mikrogliaların olgunlaşmasına yardımcı olduğunu öne sürüyor.

Bağışıklık hücrelerinin -özellikle de sınır bölgenin etrafındakilerin- beyinle tam olarak nasıl iletişim kurduğu da büyük bir gizem olmaya devam ediyor. Zaman zaman beyne geçebildiklerine dair bazı kanıtlar olsa da şimdye kadar yapılan çalışmaların çoğu, bu hücrelerin sitokin diye bilinen moleküler haberciler göndererek beyinle iletişim kurduğunu gösteriyor.

Araştırmacılar onlarca yıldır sitokinlerin davranışları nasıl etkilediğini inceliyor.

Örneğin, enfeksiyon sırasında bağışıklık hücreleri tarafından gönderilen sitokinlerin artan uyku ve yorgunluk gibi hastalık belirtilerini başlatabileceği bilimsel çalışmalarla tespit edildi. Ayrıca hayvan modellerinde, sitokinlerin vücutta yok edilmesi veya nöronlar üzerindeki belirli sitokin reseptörlerinin devre dışı bırakılmasıyla ortaya çıkan değişikliklerin haftıza, öğrenme ve sosyal davranışlarda değişikliklere yol açabileceği de bulgularla desteklendi. Sitokinlerin beyne nasıl ulaştığı ve etkilerini nasıl gösterdiği hâlâ aktif bir çalışma alanı olmaya devam ediyor. Sitokinlerin ayrıca bağışıklık sistemi ile otizm gibi nörogelişimsel durumlar arasındaki bir bağlantıyla da ilgili olabileceği düşünülüyor. Cambridge'deki Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde

nöroimmünolog olan Gloria Choi ve meslektaşları, hamile farelerde sitokin seviyelerini artırdıklarında, yavrularda beyin değişiklikleri ve otizm benzeri davranışlar tespit etmiş. Bu bilgiler her ne kadar heyecan verici olsa da Kipnis'e göre, bağışıklık hücrelerinin, özellikle de sınırdakilerin beyinde nasıl çalıştığına dair çalışmaların çoğu henüz emekleme aşamasında. Dahası, Kipnis sağlıklı beyinlerde neler olduğunu anlamaktan henüz çok uzak olduklarını da düşünüyor.

Diğer yandan, beynin bağışıklık sistemini nasıl kontrol ettiği de araştırılıyor. Choi'nin ekibi, bağışıklık tepkisini etkileyen belirli nöronların ve devrelerin izini sürüyor. Bir gün, beyin ve bağışıklık sistemi arasındaki etkileşimlerin kapsamlı bir

haritasını oluşturabilmeyi; her iki yöndeki iletişimden sorumlu hücreleri, devreleri ve moleküler habercileri ana hatlarıyla belirleyebilmeyi ve bunları davranışsal veya fizyolojik sonuçlara bağlayabilmeyi umuyor. Şu anda bu konuda karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, bu denli çeşitli işlevleri gerçekleştirmek için hangi hücre gruplarının rol oynadığını ayırt etmek. Bunun üstesinden gelmek için bazı araştırmacılar, gen dizilimi yaparak bu hücrelerin moleküler düzeyde nasıl farklılık gösterdiğini araştırıyor. Böyle bir araştırma, örneğin nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili bir mikroglia alt kümesini ortaya çıkardı. Stevens'a göre, bu mikrogliaların sağlıklı muadillerinden nasıl farklı işlediğini anlamak, çeşitli tedavilerin geliştirilmesinde faydalı olabilir. Ayrıca, bir hastalığın ilerleyişini veya tedavilerin etkinliğini izlemek için belirteç olarak da kullanılabilirler. Aslında araştırmacılar beynin içindeki ve çevresindeki bağışıklık sistemine ilişkin bu bilgileri şimdiden kullanmaya başladılar. Örneğin Schwartz'ın ekibi, Alzheimer hastalığıyla mücadele umuduyla bağışıklık sistemini gençleştiriyor. Schwartz, bu çalışmanın özellikle nörodejeneratif hastalıklar ve rahatsızlıklar için yeni tedavi yolları açtığını söylüyor.

Beyin Bağışıklık Sistemini Yönlendiriyor

Bağışıklık sistemi ile beyin arasındaki iletişimin diğer bir yönü ise beynin bağışıklık sistemini yönlendirmesi. Dünya çapında yüzlerce bilim insanı kalp krizini tedavi etmenin yollarını arıyor. İsrail Teknoloji Enstitüsünde (Technion) doktora öğrencisi olan Hedy Haykin de bu araştırmacılar arasında. Ancak diğerlerinden farkı beynin olumlu duygular ve motivasyonla ilgili bir bölgesini uyarmanın kalbin iyileşmesini etkileyip etkilemeyeceğini merak etmesi ve araştırmasına beyinden başlaması. Yaptığı çalışmada kalp krizi geçirmiş farelerin kalplerinden alınmış örnekleri mikroskopla incelediğinde bazı örneklerde kalp krizinin ardından kalan yara izlerini gördü. Diğerlerinde ise sağlıklı hücreler arasında sadece belirli belirsiz lekeler görünüyordu. Haykin'a göre örneklerdeki görünüm farklılığı beyinden kaynaklanıyordu. Daha sağlıklı görünen örnekler, olumlu duygular ve motivasyonla ilgili bir beyin bölgesinin uyarıldığı farelerden alınmıştı. Yara izi belirgin olanlar ise bu bölgenin uyarılmadığı farelere aitti. Haykin, Technion'daki danışmanları nöroimmünolog Asya Rolls ve

kardiolog Lior Gepstein ile birlikte bunun tam olarak nasıl gerçekleştiğini bulmaya çalışıyor. Asya Rolls, beynin vücudun bağışıklık tepkileri üzerindeki kontrolünün haritasını çıkaran ve sayısı giderek artan bilim insanlarından biri. Ekibin şimdiye kadar yaptıkları deneylere dayanarak vardıkları sonuç, beynin ventral tegmental alan (VTA) adı verilen bu ödül merkezinin uyarılmasının yara dokusunun azalmasına katkıda bulunan bağışıklık tepkilerini tetikliyor gibi görüldüğü.





Aslında bu çalışma kişinin psikolojik durumunun kalp sağlığına etkisini araştıran onlarca yıllık çalışmalara dayanıyor. Söz konusu çalışmalarda aşırı stresli bir olayın kalp krizi semptomlarına ve nadiren de ölüme neden olduğu durum “kırık kalp sendromu” diye adlandırılmıştı. Araştırmalar aynı zamanda olumlu düşünmenin kardiyovasküler hastalığı olanlarda daha iyi sonuçlara yol açabileceğini de öne sürmüşlerdi. Ancak bu bağlantıların arkasındaki mekanizmalar hâlâ tam olarak anlaşılmış değil. Bu gizem çözüldüğünde hekimlerin zihnini beden üzerindeki gücünden yararlanması da mümkün olabilecek.

Sinir sistemi ve bağışıklık sistemi arasında otoimmüniteden kansere kadar çok çeşitli hastalıklarda rol oynayan çok sayıda iletişim hattı bulunuyor.

Vücudu beyne bağlayan devasa sinir liflerinin oluşturduğu vagus siniri gibi sistemin bazı kısımları, şu anda klinik deneylerde test edilen çeşitli otoimmün hastalıklar için tedavilere ilham kaynağı oluyor.

Bu gelişmeler araştırmacılar için cesaret verici olsa da pek çok şey hâlâ gizemini koruyor. Bilim insanları yüz yılı aşkın bir süredir sinir ve bağışıklık sistemleri arasında derin bir ilişki olduğuna dair ipuçları buluyor. Örneğin, on dokuzuncu yüzyılın sonlarında ve yirminci yüzyılın başlarında bilim insanları deriye giden sinirlerin kesilmesinin bazı iltihaplanma belirtilerini engelleyebileceğini göstermişti.

1990’ların sonlarına kadar bu alandaki araştırmacılar vücut orkestrasının şefi olan beyinle bağlantı kurmamıştı. O zamanlar New York, Manhasset’teki North Shore Üniversitesi Hastanesinde

çalışan beyin cerrahı Kevin Tracey ve meslektaşları, deneysel bir anti-enflamatuar (yangı önleyici) ilacın inmenin yol açtığı beyin enflamasyonunu kontrol altına almaya yardımcı olup olmayacağını araştırırken beklenmedik bir şey keşfettiler. Felç geçirmiş kemirgenlerin beyinlerine verildiğinde, ilaç beklenen etkiyi gösterdi ve yangıyı azalttı. Ekip kontrol grubunda, ilacın sadece beyinde işe yarayacağını düşünerek, ilacı vücutlarının tamamında iltihap bulunan hayvanların beyinlerine enjekte etti. Şaşırtıcı bir şekilde, ilaç vücutta da işe yaradı. Şu anda Manhasset’teki Feinstein Tıbbi Araştırma Enstitüsü başkanı olan Tracey ve ekibi, aylarca ilacın beyinden vücuda nasıl gittiğini belirlemeye çalıştı. Bunu tespit etmek için beyinden kalbe, akciğerlere, gastrointestinal sisteme ve diğer ana organlara giden yaklaşık 100.000 sinir lifinden oluşan bir demet olan vagus sinirini kesmeye karar verdiler. Vagus siniri kesildiğinde, beyinden verilen ilacın vücut üzerindeki yangı önleyici etkisi ortadan kalktı. Bu keşiften ilham alan Tracey’nin grubu, vagus sinirinin ve sinir sisteminin geri kalanının bağışıklık tepkilerini yönlendirdiği diğer yolları da keşfetmeye devam ettiler.

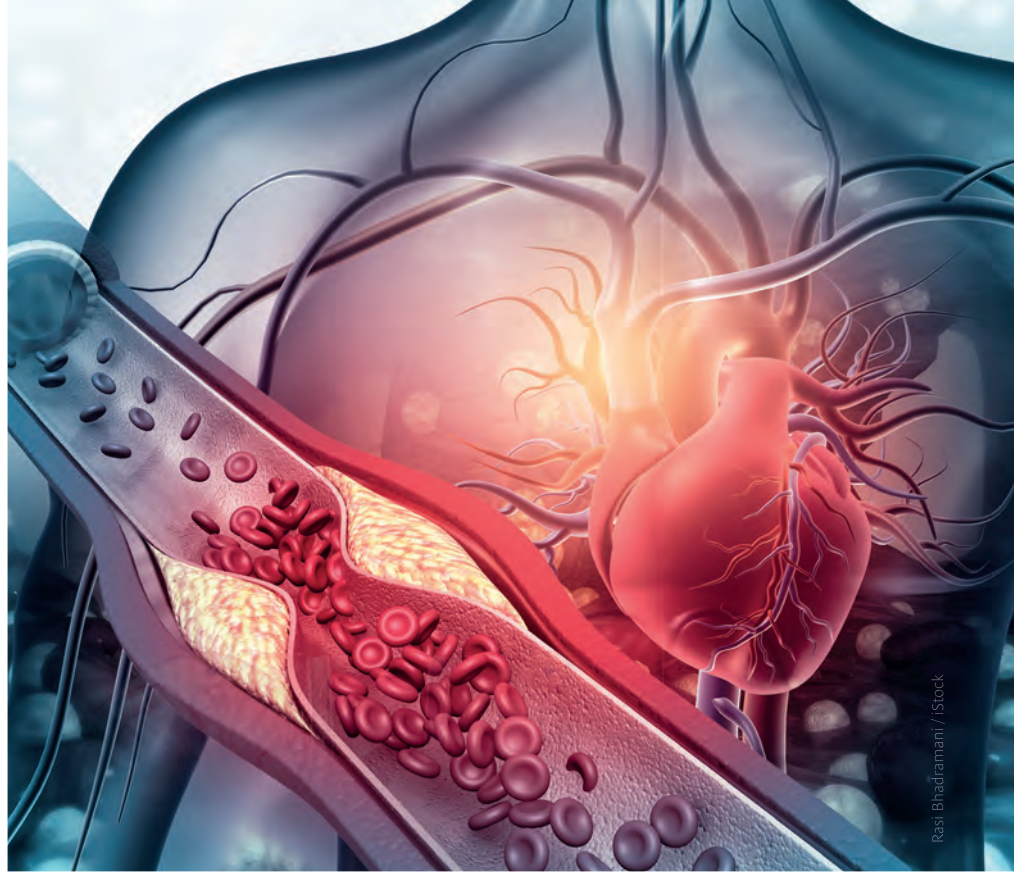
Diğer yandan, bazı bilim insanları araştırmalarında belirli vücut sistemlerine odaklanıyor.

Örneğin, Almanya'daki Ludwig Maximilian Üniversitesinden kardiyolog Andreas Habenicht liderliğindeki bir ekip, geçen yıl bağışıklık hücreleri ile damar duvarlarının en dış katmanındaki sinirler arasındaki etkileşimden kaynaklanan bir mekanizmayı keşfetti. Bulgularına göre, bu etkileşim, damarların kolesterol ve diğer maddelerle tıkanıp iltihaplı bir hastalık olan aterosklerozun ilerlemesinde rol oynuyor. Bu arada Lizbon'daki Champalimaud Foundaton'da çalışan bir nöroimmünolog olan Henrique Veiga-Fernandes ve grubu, çeşitli dokulardaki nöron ve bağışıklık hücreleri kümelerini tespit etmekle kalmadı; hasarı algılamak ve bağışıklık tepkisini harekete geçirmek için nasıl birlikte çalıştıklarını da keşfetti. Ekip şimdi bu kümelerin beyin tarafından nasıl kontrol edilebileceğini araştırıyor.

Beyinle ilgili bir başka sırı ise Cambridge, Massachusetts'teki Harvard Üniversitesinden sinirbilimci Catherine Dulac ve ekibi ortaya çıkardı. Araştırmacılar enfeksiyona yanıt olarak ateş ve iştah kaybı gibi semptomları kontrol eden beynin hipotalamus bölgesindeki nöronları tespit etti. Çoğu insan muhtemelen kendini hasta hissettiğinde bunun sebebinin bakteri ya da virüsler olduğunu düşünür. Ancak Dulac ve ekibi, bu nöronların aktive edilmesinin patojen yokluğunda bile hastalık

belirtileri ortaya çıkmasına yol açabileceğini tespit etti. Dulac, hipotalamustaki bu nöronların kronik yangı gibi sorunlar söz konusu olduğunda patojenler dışındaki tetikleyiciler tarafından aktive edilip edilemeyeceğinin önemli bir sorun olduğunu belirtiyor.

Nöroimmünoloji alanında yapılan son çalışmalar ışığında, sinir sistemi ve bağışıklık sistemi tarafından paylaşılan olağanüstü çeşitlilik ve özgünlükteki ilişkiler, bu iki sistem arasında ortak bir moleküler mekanizmanın bulunabileceğini düşündürüyor. ■



Bağışıklık hücreleri ile damar duvarlarının en dış katmanındaki sinirler arasındaki etkileşim, damarların kolesterol ve diğer maddelerle tıkanıp iltihaplı bir hastalık olan aterosklerozun ilerlemesinde rol oynuyor.

Kaynaklar

Rolls ve ark., "Neuronal regulation of immunity: why, how and where?", *Nature*, cilt 21, 2021

Louveau ve ark., "Structural and functional features of central nervous system lymphatic vessels", *Nature*, cilt 533, sayı 7602, s.337-341, 2016.

<https://www.nature.com/articles/d41586-022-01502-8>

<https://www.nature.com/articles/d41586-023-00509-z>